

SUS基材上の複合表面処理による耐食性機械特性の評価

吉田 智博*1, 山下 和章*2, 山下 陵*2, 山下 章子*2

Anti-corrosion and Mechanical Properties of Combined surface preparations on SUS substrate

Tomohiro Yoshida, Kazuaki Yamashita, Ryo Yamashita and Fumiko Yamashita

樹脂プラントに用いられる金属部品は、樹脂材料の高機能化に伴い高耐久性、高耐食性が求められており、複数の表面処理を組み合わせた複合表面処理による金属部品の長寿命化が図られている。本研究では、熱処理、窒化、ショットピーニング、CrAlNコーティングの組み合わせを変えたサンプルに対して、耐食性、表面硬度、摩擦係数の評価を行った。窒化を含む条件では若干の耐食性向上がみられた。表面硬度は表面処理の組み合わせによる大きな差はみられなかった。摩擦係数は摺動距離が長くなるとともに増加し、摩擦係数の増加は樹脂相手材がサンプル表面に付着したことによるものと推察される。

1 はじめに

労働人口の減少や国際競争力の向上を背景に、製造現場では生産性の向上が求められている。自動化が進んだ生産ラインでは、消耗品の部品交換や点検に要するダウンタイムの縮減のため、設備を構成する金属部品の長寿命化が必要である。樹脂製品の製造ラインでは樹脂の高機能化に伴い、機械的特性、熱的特性、機能性付与のために種々の酸化物系、窒化物系、炭素系フィラーが充填され¹⁾、製造ライン中の金属部品には高い硬度、耐摩耗性、耐食性が求められている。長寿命化の試みでは、ピーニングと窒化の組み合わせや、イオン注入による表面改質と製膜の組み合わせなどの報告がある^{2,3)}。本報告では、焼入れ硬化が可能でバルブや刃物、樹脂金型などに用いられるSUS420J2基材上に、窒化、ショットピーニング、CrAlN系ハードコーティングの複数の表面処理を複合的に組み合わせたサンプルに対して、耐食性、機械特性の評価を行った。

2 実験方法

表1に評価に用いた表面処理サンプルの組み合わせを示す。基材には1025 °Cで焼入れ、500 °Cで焼戻しを行ったSUS420J2を用いた。表面処理には窒化、ショットピーニング、CrAlN系のハードコーティングを用い、組み合わせを変えたサンプルを作製した。窒化には低温ガス窒化のEH処理⁴⁾を用いた。ショットピーニ

表1 複合表面処理の組み合わせ
（「ピーニング」と「CrAlN系」）

No.	基材	熱処理	窒化	ショットピーニング	CrAlN系コーティング
1	SUS420J2	○	-	-	○
2	SUS420J2	○	○	-	○
3	SUS420J2	○	○	○	○
4	SUS420J2	○	-	○	○

ングはWPC処理⁵⁾を用い、CrAlN系のコーティングはPVDを用い膜厚目標約3 μmで製膜した。

耐食性の評価は塩水噴霧試験（スガ試験機(株)STP-120）を用いた。試験は噴霧室温度 35 °C、pH 6.5～7.2、塩水濃度 5 %、設置角度 20 °、噴霧量 1.5±0.5 mL/h の環境で行った。サンプル下部での液溜まり防止のため、サンプルをφ6 mm のガラス管の上に設置した。サンプルの側面および裏面はテープで保護した。耐食性は、試験時間 51 時間までのサンプルの外観で評価した。機械特性は、摩擦係数と硬度で評価した。摩擦係数は摩擦摩耗試験機（(株)レスカ FRP-2100）を用い、ピンオンディスク摩耗試験を行った。摩擦係数測定の場合は、無潤滑環境下において荷重 2050 gf、摺動速度 50 rpm、摺動直径 30 mm、摺動距離 157m（試験時間 2000 sec.）である。表面硬度の測定にはナノインデンテーション（(株)エリオニクス ENT-NEXAS）を用いた。表面硬度測定の場合の負荷荷重は 4 mN とした。押し込み深さが CrAlN 目標膜厚 3 μm の 1/10 を満足するように負荷荷重を調整した。サンプルの断面および摩擦摩耗痕の観察には、レーザー顕微鏡（(株)エビデント OLS-5100）を用いた。

*1 機械電子研究所

*2 東亜精工株式会社

3 結果と考察

図1に塩水噴霧試験を行った複合表面処理サンプルの外観を示す。横方向に各サンプル番号、縦方向に経過時間を示す。5時間経過した各サンプルの外観に違いはみられなかった。20時間経過後は、窒化処理を含むNo. 2とNo. 3の条件で若干赤サビの発生量が少なかった。51時間経過後は、全てのサンプルで全面が腐食したが、No. 3 (CrAlN/ピーニング/窒化処理) のサンプルは素地が若干残っていた。

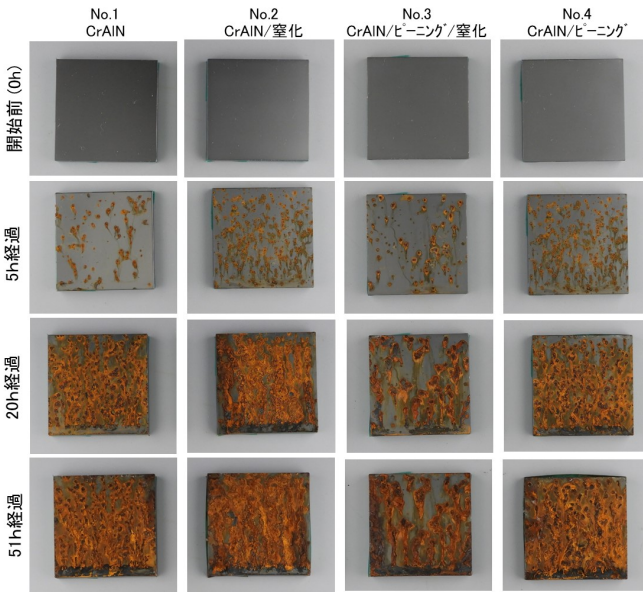


図1 各複合表面処理の組み合わせサンプルの塩水噴霧試験時間におけるサンプル外観

図2に各複合表面処理サンプルの表面SEM像を示す。比較的耐食性が良かったNo. 3のサンプルは、他のサンプルと比較して均一なCrAlN膜が形成された。均一な膜が保護層となり、赤サビの発生量が少なかった可能性がある。全てのサンプル表面にCrAlN原料のCrAlターゲットの溶滴であるドロップレットとみられる数 μm サイズのパーティクルが堆積していた。今回のサンプル条件ではCrAlNコーティングのドロップレットが欠陥となり、SUS基材が腐食したと考えられる。また、基材に用いたSUS420J2は室内等の穏やかな環境下では耐食性を有するが、酸環境や塩水環境のような厳しい環境下では腐食を起こす場合があると記されている⁶⁾。保護層となる被膜に欠陥があるため、赤サビの発生は妥当な結果だと考えられる。

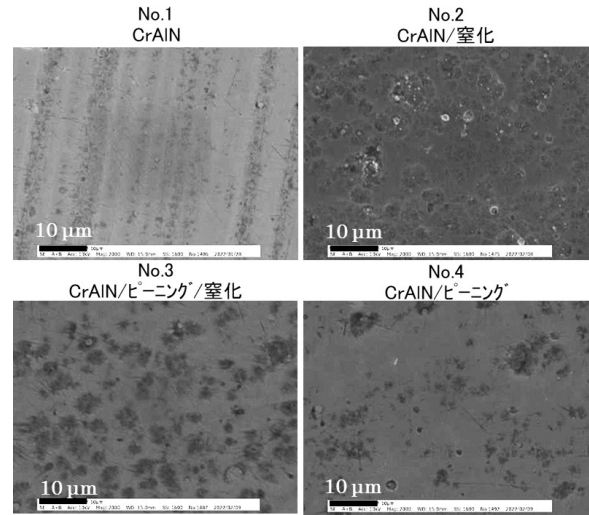


図2 各複合表面処理の組み合わせサンプルの表面SEM像の比較

図3に各複合表面処理サンプルの断面光学像を示す。窒化を含む条件のNo. 2とNo. 3のサンプルでは、窒化層の上にCrAlN膜が観察された。各サンプルのCrAlN膜および窒化層の厚みをスケールバーとの比率で計算した値を表2に示す。CrAlN膜の膜厚は $1.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$ 、窒化層の厚みは約 $15\ \mu\text{m}$ でサンプル間の差はなかった。一方で、CrAlNの目標膜厚 $3\ \mu\text{m}$ に対して、サンプル上のCrAlN膜は $1/2\sim 1/3$ 程度薄かった。

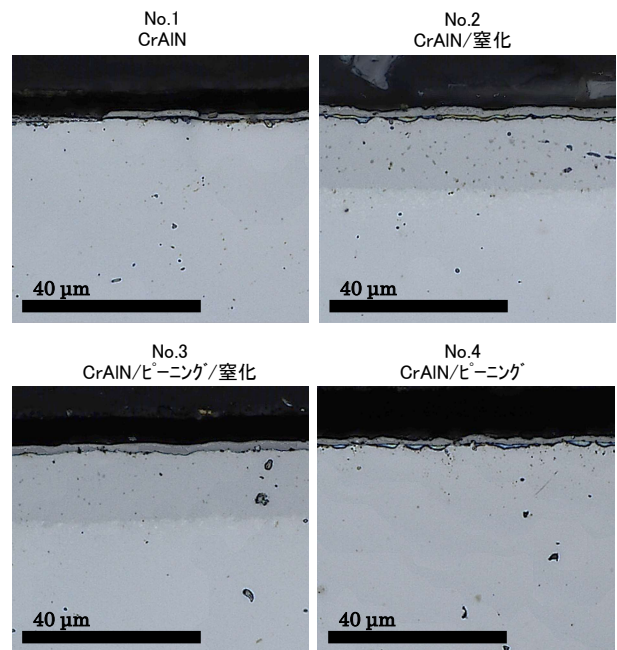


図3 各複合表面処理の組み合わせサンプルの断面光学像の比較

表2 各複合表面処理の組み合わせサンプルの窒化層およびCrAINコーティング膜厚

No.	窒化層	CrAIN系コーティング
1	-	1.5 μ m
2	14.8 μ m	1.9 μ m
3	15.4 μ m	2.0 μ m
4	-	1.7 μ m

図4に各複合表面処理サンプルの摩擦係数を示す。縦軸に摩擦係数、横軸に摺動距離を示す。No. 3のサンプルは他のサンプルと比較して、摺動距離35 mを過ぎたところで摩擦係数が大幅に増加した。No. 4のサンプルは摺動距離130 mで摩擦係数が低下した。ピンオンディスク摩耗試験は相手材のピンがサンプルに面で接触するため、当たり方が変化した可能性が考えられる。

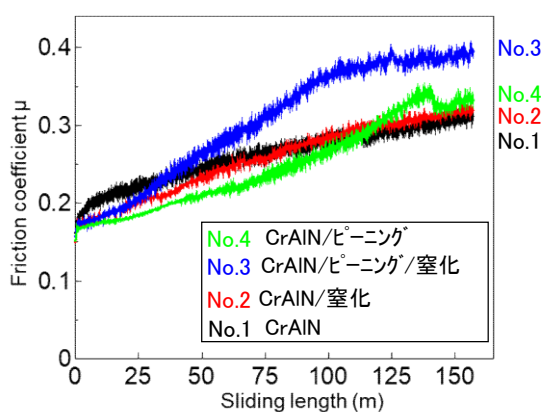


図4 各複合表面処理の組み合わせサンプルの摩擦係数の比較

図5にピンオンディスク摩耗試験に用いた相手材ナイロン6の摩擦面の外観写真を示す。丸破線で示す相手材表面の位置に黒く変色した接地痕がみられた。摩擦係数が低下したサンプルNo. 4の相手材は、他の相手材に比べて接触面が少なかった。このため、No. 4における摺動距離130 mでの摩擦係数の低下は、試験中に相手材との接触面積が減少したことによるものと推察される。

図6に各複合表面処理サンプルの摩擦摩耗痕の光学像とレーザー顕微鏡像を示す。光学像中に黒丸で示す虹色の干渉色は、相手材のナイロン6の付着と考えられる。全てのサンプルで摩擦係数が増加した理由は、相手材の付着に由来すると推察される。また、No. 3の表面は微細孔が多く存在していた。他のサンプルと比

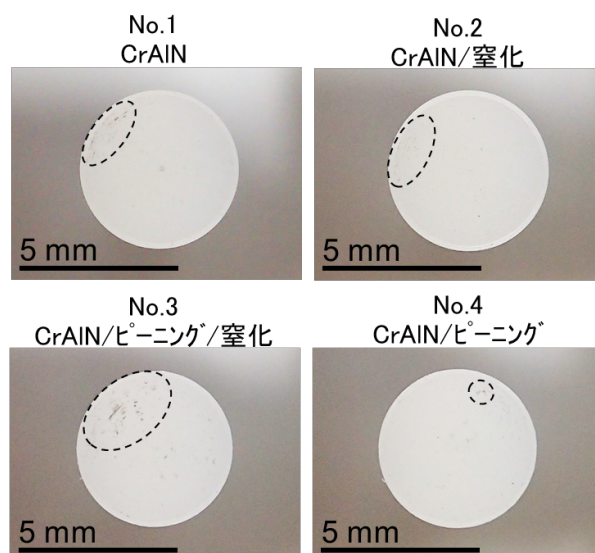


図5 ピンオンディスク摩耗試験に用いた相手材の摩擦面の写真

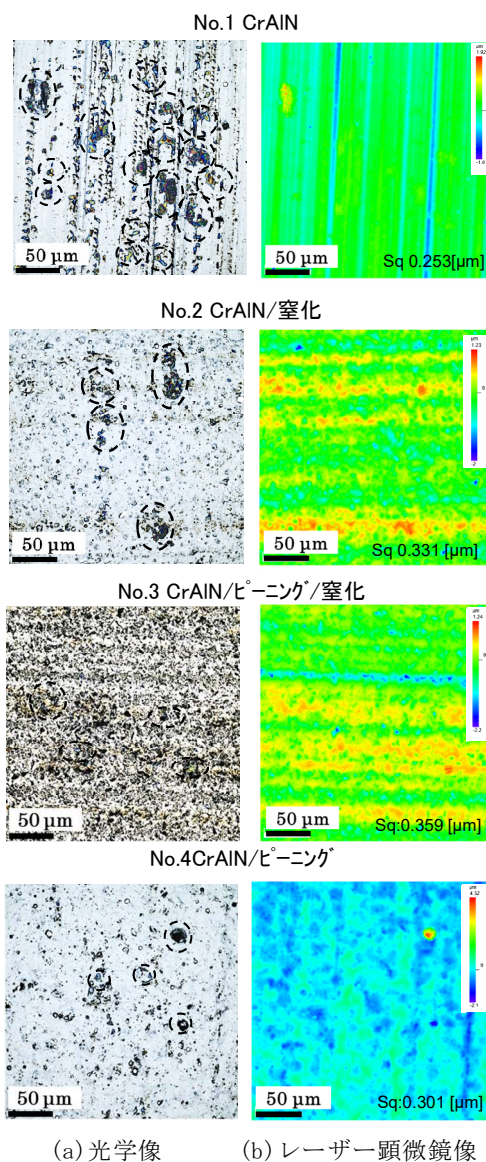


図6 各複合表面処理の組み合わせサンプルの摩耗痕の光学像とレーザー顕微鏡像

べて微細孔が多いことで、摺動距離の増加とともにナイロン6の付着量が増加し、サンプルNo. 3の摩擦係数が増加した可能性が考えられる。カラーマップで示したレーザー顕微鏡像では、全てのサンプルで線状の加工痕がみられた。面粗さの二乗平方根平均粗さSqは最小値がNo. 1の0.25 μm 、最大値がNo. 3の0.36 μm 程度でサンプル間の摩耗痕の粗さに差はなかった。このため、サンプルNo. 3の摩擦係数増加に及ぼす表面粗さの影響は少ないと考えられる。

図7に各複合表面処理サンプルの表面硬度の比較を示す。縦軸に押し込み硬度、横軸にサンプル番号を示す。測定は14回行い、4点の外れ値を除いた10点の測定値を白丸、平均値を黒丸で示した。アーキイオンプレーティングを用いたCrAlNの硬度は、約37 GPa程度と報告されており⁷⁾、サンプルNo. 2以外のCrAlNは同程度の硬度である。CrAlN/窒化を組み合わせたNo. 2の硬度は平均22.5 GPaで、他のサンプルの硬度31~32 GPaよりも低かった。低い硬度の理由は、10点の測定値が約15~30 GPaの間で広く分布しているためである。

図8に各複合表面処理サンプルの硬度測定を行った視野の光学像を示す。No. 1の表面は線状の加工痕がみられた。No. 2からNo. 4のサンプルは丸みを帯びた凹凸形状が形成されていた。No. 2の条件では、微細な凹凸が高密度で形成されており、この凹凸が広く分布した表面硬度の原因と考えられる。

4 まとめ

SUS基材に対して熱処理、窒化、ショットピーニング、CrAlNコーティングを組み合わせたサンプルに対して、塩水噴霧試験、表面・断面観察、摩擦係数測定、表面硬度測定を行った。塩水噴霧試験では、窒化を含む条件で若干耐食性が向上した。表面形状は窒化を含むサンプルが粗く、全てのサンプルでナノパーティクルが観察された。断面光学像では、膜厚1.5~2.0 μm のCrAlN膜と、約15 μm の窒化層が観察された。摩擦係数は摺動距離が長くなることに伴い増加した。摩擦係数の増加は相手材のナイロン6の付着によるものと推察される。表面硬度は20~30 GPa程度であり、表面処理の組み合わせの影響はなかった。

5 参考文献

1)永田員也, 真田和昭: ネットワークポリマー, Vol.

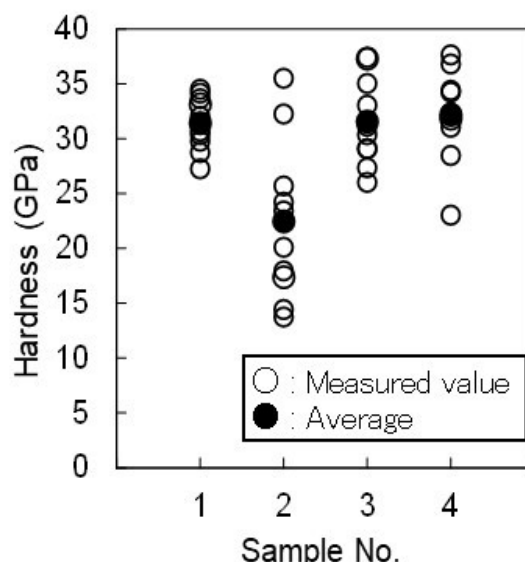


図7 各複合表面処理の組み合わせサンプルの表面硬度の比較

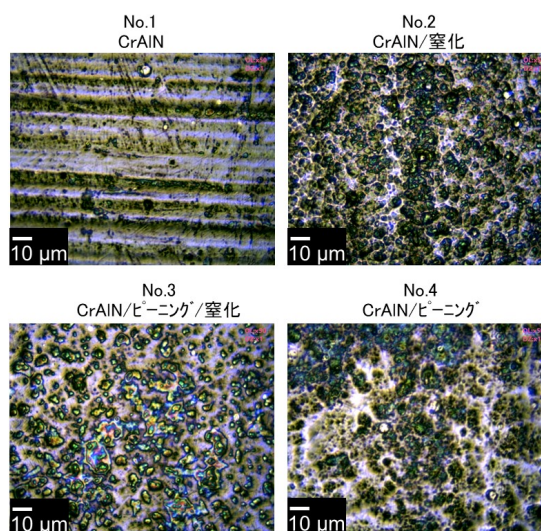


図8 各複合表面処理の組み合わせサンプルの表面硬度測定視野の光学像

36, No. 6, 299-308 (2015)

- 2) 菊池将一, 亀山雄高, 深沢剣吾, 小茂鳥潤: 砥粒加工学会誌, Vol. 50 No. 3, 134-137 (2006)
- 3) 滝川浩史, 電気学会誌, 121巻 5号, 312-315 (2001)
- 4) 竹居正美, 藤田英人, 藤野良治: 複合拡散窒化方法及び装置並びに窒化物の生産方法, 特許番号 第2693382号 (1997)
- 5) 熊谷正夫: 油空圧技術, Vol. 50, No. 9, 20-23 (2011)
- 6) 岸本耕司: 山陽特殊製鋼技報, Vol. 5, No. 1, 91-104 (1998)
- 7) 嶋村公二, 他: 砥粒加工学会誌, Vol. 57, No. 8, 536-541 (2013)